

補助事業番号 2017M-148
補助事業名 平成29年度 磁力制御と自重で高精度位置決めを可能にする磁気浮上式微動テーブルの開発 補助事業
補助事業者名 九州工業大学大学院工学研究院機械知能工学研究系 田丸雄摩

1 研究の概要

高精度・高分解能位置決めを達成すべく、摺動摩擦を排除した微動機構の構築を目指した。電磁石と永久磁石の磁気反発力を支持力とする微動テーブルを発想したが、安定的な支持に難があることがわかり、可撓支持と磁気吸引力を組合せた機構の開発を新たに行った。可撓とすることで剛性が保たれ、磁気吸引力で摺動摩擦を完全排除することで運動精度の高い微動性能を発揮できる。電磁石と永久磁石で構成するアクチュエータを一つの微動要素に対して2対設置することで長ストローク、高分解能および両者を連係した微動が可能であることを示した。また、1軸微動から2軸微動装置へと発展させ、X、Yの2軸で駆動する微動テーブルの完成に至った。

2 研究の目的と背景

位置決めは微細加工に不可欠な技術要素であり、例えば近年はMEMSデバイス製作が発達してきた。デバイスの品質は製作工程での位置決め能力がカギであり、特に高精度な位置決めが欠かせない。現状のMEMSデバイス加工においては一般の工作機械テーブルと同様にボールねじ+リニアガイドで構成される位置決め機構が多く採用されるが、位置決めの向上には限界があり、複雑な制御でコスト高になるなど負の側面が多い。このような状況に鑑みれば微細加工における位置決め機構は容易かつ簡便な手法で高精度・高分解能を達成可能な機構が望まれる。

そこで本研究では、可撓支持で相応の支持剛性を保ちつつ、電磁石と永久磁石相互間の磁気吸引力をアクチュエータとすることで摺動摩擦を排除した微動機構の構築を提案した。微細加工に適用する微動テーブル装置として、ピエゾ素子と変位拡大機構を組合せた機構がよく用いられるが、変位ストロークはピエゾの伸び量に依存し、変位拡大が可能な反面、変位分解能は粗くなるという弱点がある。また、1段で2軸駆動を構成すると軸間の摺動摩擦が生じるという課題がある。提案の機構は磁気吸引力が印加電流によって自在に調整できるため長ストロークに有利であり、電磁石と永久磁石の磁極間隔を調整可能にすることで高分解能微動も容易に出力できる。さらにこれら両者を連係させることで長ストロークから高分解能に至る微動を連続的に出力できる。スティックスリップの原因となる摺動摩擦を排除したことで運動精度が高まり高精度位置決めも達成される。すなわち、本研究の遂行によって微細加工に適した長ストロークと高精度・高分解能を兼ね備えた微動テーブルを開発することが目的である。

3 研究内容

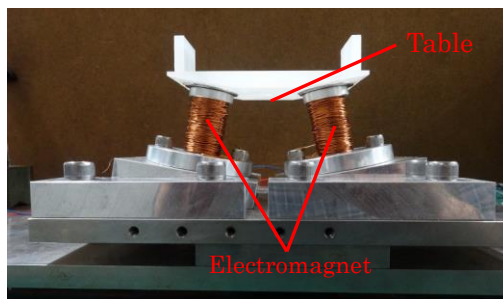
(1) 磁気吸引力検定試験装置の製作と評価および磁気浮上支持微動試験装置の試作

(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/precision/tamaru/chapter1.pdf>)

電磁石と永久磁石の磁極間に生じる磁気吸引力の検定装置を構築した。これにより、理論では

予測し難い電磁石への印加電流と吸引力の関係を容易に校正できた。

次に磁気浮上支持微動試験装置を製作した。電磁石を10度の傾斜で左右対称に設置し、底面を10度のテーパでハの字に加工したテーブル底面に永久磁石を取付けて電磁石上に設置する。反発力と自重がバランスしてテーブルが非接触支持される原理である。ただし、本手法は安定した支持や保持剛性に難があり、摺動摩擦の排除と剛性の確保を両立する新たな装置の開発を進めることにした。



磁気浮上支持微動試験装置

(2) 磁気浮上支持微動試験装置を転用した可撓支持微動テーブルの試作と評価

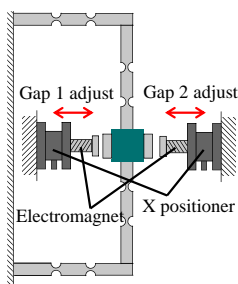
(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/precision/tamaru/chapter2.pdf>)

磁気浮上支持微動試験装置の改善的手法となる可撓支持機構を構築した。可撓支持による微動性能を構築済みの装置に可撓機構を追加することで試験できたため、可撓による高剛性と磁力による微動が可能であることを簡便に確認でき、基礎的な微動性能を評価した。

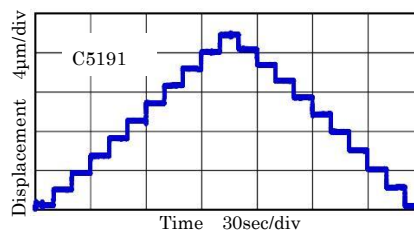
(3) 1軸可撓支持微動テーブルの開発と基本性能評価

(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/precision/tamaru/chapter3.pdf>)

弾性ヒンジを施したビームで構成される1軸の可撓支持機構を新たに製作し、電磁石と永久磁石の吸引力を駆動源とする微動テーブル装置を開発した。電磁石と永久磁石の磁極間隔は直動ステージで調整可能であり、また電磁石への印加電流は直流安定化電源制御できる。これらによって長ストロークと高分解能および両者を連係した微動が可能になる。可撓機構の剛性は解析で見積った。電磁石への印加電流と吸引力の関係は(1)で述べた検定装置で校正した。これによって印加電流に対する微動変位の予測を行った。可撓機構にC5191を用いてテーブル微動をステップ応答で試行したところ、電流変化に追従した階段状変位を得た。



磁極間隔の調整

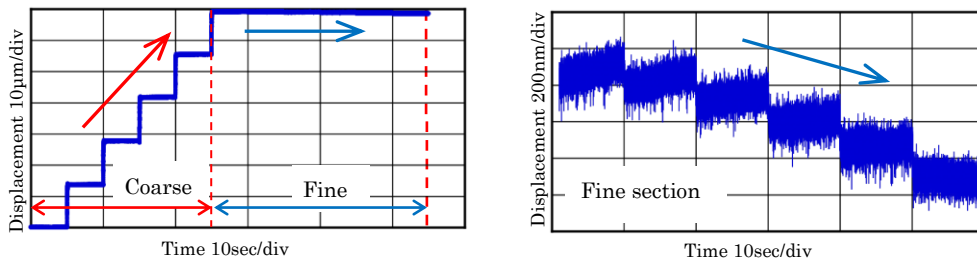


ステップ変位

(4) 1軸可撓支持微動テーブルの微動性能評価

(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/precision/tamaru/chapter4.pdf>)

A2017, C5191, SUS303の3種の部材を可撓機構に用いて長ストローク, 高分解能, 前2者を連続させる3通りの実験を行った. 長ストローク微動で得られた最大変位はA2017:108 μ m, C5191:71 μ m, SUS303:39 μ mであり, ステップごとの平均変位を直線近似した傾きは図17に示す見積と比較して+27%, +16%, +6%となった. 次に高分解能微動で得られた変位はA2017:217nm, C5191:131nm, SUS303:58nmであった. さらに, 長ストロークと高分解能を組合せた連続微動においてもそれぞれの単独微動とほぼ同等の変位となった.

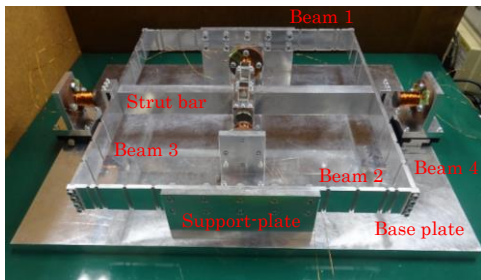


連続微動 (右図: 高分解能微動の拡大図)

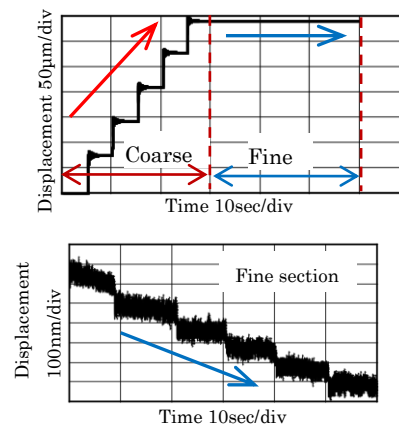
(5) 2軸可撓支持微動テーブルの開発と微動性能評価

(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/precision/tamaru/chapter5.pdf>)

1軸微動を2軸微動に発展させた2軸可撓機構テーブル微動装置を新たに構築した. 機構はX, Yそれぞれの微動方向に対して対称形状となっているため, 幾何形状での軸間干渉は生じない. 1軸と同様にそれぞれの微動に対して電磁石と永久磁石を2対ずつ設置しており, 長ストローク, 高分解能, 両者の連続微動を可能にしている. A2017を用いて連続微動を行った結果, X軸微動の場合, 長ストローク:340 μ m, 高分解能:108nmであり, それぞれを単独で微動させた場合とほぼ同等の性能を得られた.



2軸微動テーブル装置



連続微動 (下図: 高分解能微動の拡大図)

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

微細加工装置, 例えばレーザー加工機やMEMSデバイス製作関連ではステッパやマスクアライナーあるいは顕微鏡のステージ位置決めにおいて本研究で開発した機構を適用することで位置合わせ

せが容易になり、作業の効率化が期待される。また、これらに機器を利用する作業員や研究者、大学、研究機関において作業の簡略化や低コスト化に貢献できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

位置決めは微細加工技術の発展にあわせてそれに相応しい技術開発を実行する必要がある。この観点に沿ってこれまでねじ送りで位置決めの高精度化に取り組んできた。そしてさらなる微動の機能性向上を果たすため、摺動摩擦を排除する微動機構の構築を発想した。今回の研究を通して磁力と可撓を組み合わせるといった新たな微動の手法によって長ストロークから高分解能に至る位置決め効果が明らかになったことで今後の微細加工に適した位置決め技術に対する多くの知見を得ることができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【発表論文】

- ・磁力制御による可撓支持微動テーブルの開発，宅野元気，田丸雄摩，清水浩貴，日本機械学会第49回学生員卒業研究発表講演会論文集，H16，(2018,3)
- ・磁気吸引力を利用した2軸可撓支持微動テーブルの開発，河田謙介，田丸雄摩，清水浩貴，日本機械学会第50回学生員卒業研究発表講演会論文集，722，(2019,3)
- ・磁気吸引力を利用した可撓支持微動テーブルの開発，田丸雄摩，宅野元気，清水浩貴，2019年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，728-729，(2019,3)

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

上記発表論文原稿および研究紹介ポスター

[発表論文1](#) [発表論文2](#) [発表論文3](#) [ポスター](#)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：九州工業大学大学院工学研究院

(キューシュウコウギョウダイガクダイガクインコウガクケンキュウイン)

住所：〒804-8550

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1

担当者：助教 田丸雄摩(タマルユウマ)

担当部署：機械知能工学研究系

E-mail: tamaru.yuma851@mail.kyutech.jp

URL: <http://www.mech.kyutech.ac.jp/labo/seimitu.html>